

開水路流れの抵抗特性に関する実験的研究

京都大学防災研究所 正員 今本博健
 日建設計(株) 正員 石垣泰輔
 (株)森本組 正員 ○今西邦夫

1. はじめに

一般に、乱流境界層における平均速度分布式として経験的な指数則あるいは半理論的な対数則がよく利用されている。対数則は運動量輸送理論における混合距離としてPrandtlあるいはKarmanにより提唱されたものを用いて導かれたもので、実用上の見地から高く評価されている。

対数則の開水路流れへの適用における問題として、従来より、断面形状および自由表面の効果の観点より多くの検討が加えられているが、ここでは後者の問題を取り上げ、フルード数 Fr とカルマン定数 k あるいは積分定数 A_s および A_r との関係について実験的検討を加える。なお、この問題については、 k を一定とした場合、積分定数は Fr によって変化し、とくに射流では Fr の増加に伴って減少し¹⁾、また積分定数を一定とした場合、 k は限界流付近で極小となる²⁾という研究成果が発表されているが、これらには断面形状の効果が総合されているため、必ずしも2次元開水路流れの特性とはみなし得ない。このため、本研究では流れの2次元性に注意するとともに高性能のホットフィルム流速計を駆使し、 k および A_s あるいは A_r の特性を再検討しようとするもので、実験には長さ13m、幅40cm、高さ20cmの長方形断面一様水路が使用されている。

2. 流れの2次元性

水路中央部における流れの2次元性を、平均速度 U およびレイノルズ応力 $-\overline{uw}$ の鉛直分布より検討すると図-1のようになる。図は水深 H をほぼ一定に保ちながら、水路幅 B を変化させた場合の計測値であって、水路幅・水深比 B/H が小的时候、最大流速点は自由表面上になるとは限らず、また $-\overline{uw}$ も最大流速点より自由表面側で負となっている。このように B/H が小さい場合、側壁面の効果により水路中央部においても流れは2次元とみなされないことが知れる。

図-2は自由表面近傍における平均速度の測定値より推定される表面流速と水深中央部の平均速度分布に対数則を適用して推定される表面流速との差 ΔU_h を摩擦速度 $U_\tau (= \sqrt{gH I_b I_b})$ で無次元化し、 B/H との関係を示したものであって、RajaratnamおよびMuralidhar³⁾による実験結果も併示されている。図より知れるように、 B/H が小さくなると自由表面近傍における対数則からの離反が大きくなることが知れ、2次元流れを対象とするには B/H を10程度より大きくする必要があることが知れる。

3. 平均速度分布

図-3および図-4は平均速度分布の計測例を示したものであって、等流条件が満足されている流れのみが対象とされている。図-3は滑面上の流れに関するものであって、レイノルズ数 Re およびフルード数 Fr に関係なく対数則の適用性が確められる。また、図-4は粗面上の流れに関するものであって、粗面においても対数速度分布式が Fr および k に関係なく適用されることが知れる。なお、粗度要素としては標準ふるいによってふるい分けられた一様砂を用い、粗度高 k として平均粒径 k_d (2種のふるい目の相乗平均)を採用

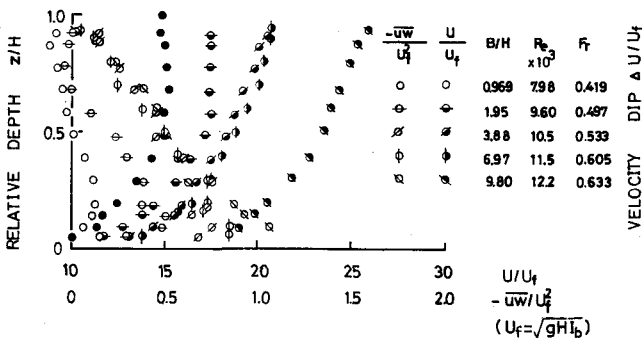


図-1

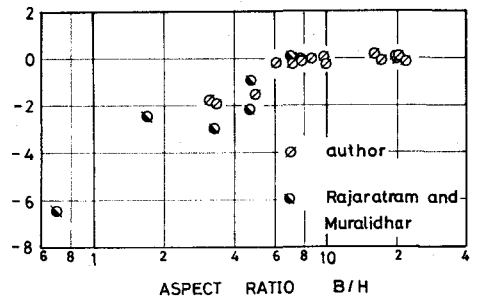


図-2

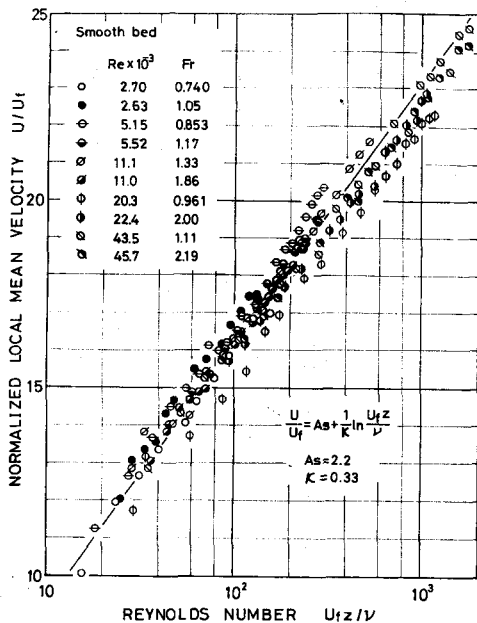


図 - 3

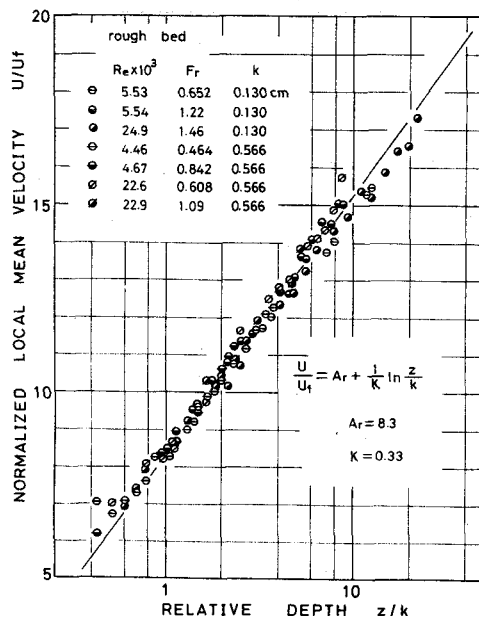


図 - 4

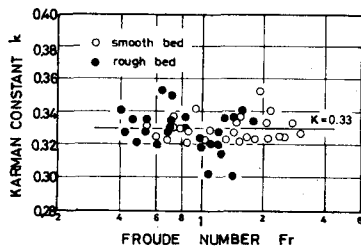


図 - 5

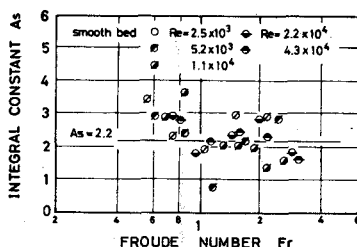


図 - 6

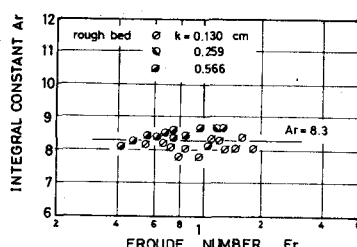


図 - 7

するとともに、仮想路床面を砂粒頂より $1/4 \cdot k_d$ 下側としている。

4. カルマン定数および積分定数

図-5 は k と Fr との関係を種々の水理条件のもとで計測したものであって、射流においても常流とほぼ同じ値を取り、 k は Fr に関係なく一定とみなすことができるようであるが、その値は $k \sim 0.33$ となり、管路の場合の $k = 0.4$ より若干小さくなっている。

また、図-6 および図-7 は積分定数 As および Ar と Fr との関係を示したものであって、 As および Ar についても射流で減少する傾向はあまり顕著ではなく、管路とは異なる一定値 $As = 2.2$ および $Ar = 8.3$ とみなすことができるようである。

以上のように、本実験では、2次元開水路流れへの対数則の適用性が確かめられるとともに、対数則における2種の定数すなわちカルマン定数および積分定数は、従来の研究結果と異なり、フルード数にほとんど関係しないという結果が得られたが、開水路流れの抵抗則を論ずるにはさらに広範囲の水理条件下における高精度の実験的検討が不可欠であり、2次元開水路流れから実的な断面形状を有する開水路流れの抵抗則への拡張を含め、今後の課題としたい。

参考文献

- 1) 岩垣雄一：土木学会論文集，16，1953。
- 2) 福岡捷二，吉川秀夫：東京工業大学土木工学科研究報告，10，pp.99-173，1971。
- 3) Rajaratnam, N. and D. Muralidhar: La Houille, 1969-6, pp. 603-609, 1969。